

ANALISA SISTEM SINKRONISASI (SUPPLY PLN DAN GENERATOR SINKRON TIGA FASE) DALAM BENTUK ALAT TRAINER LABORATORIUM

Setia Gunawan, Eko Pramuwignyo

Program Studi Teknik, Fakultas Teknik Elektro

Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta

Jl. Sunter Permai Raya, Sunter Agung Podomoro Jakarta Utara 14350

e-mail: eko_frg@yahoo.co.id^[1], setiagunawan55@yahoo.com^[2]

ABSTRAK

Semakin berkembangnya teknologi di era sekarang khususnya dunia ketenagalistrikan, semakin besar juga kebutuhan akan tenaga listrik. Setiap manusia selalu mempergunakan tenaga listrik dalam kehidupan sehari-hari seperti dalam penggunaan perangkat-perangkat elektronik, mesin-mesin industri dan masih banyak lagi. Untuk mengatasinya perlu adanya inovasi-inovasi dalam bidang tenaga listrik. Yang bisa menopang penggunaan beban yang besar. Salah satu langkah mengatasi hal tersebut adalah dengan menggabungkan beberapa sumber tenaga listrik dengan alat sinkronisasi. Alat sinkronisasi merupakan alat yang dapat mendeteksi tegangan, frekuensi, sudut fasa dan urutan fasa. Dalam pembuatan alat penelitian ini, memerlukan kontaktor dengan coil 110 volt sebagai kontak tegangan, relay frekuensi untuk membaca nilai frekuensi dan sistem lampu terang redup sebagai urutan fasanya. Untuk penelitian ini, dilakukan metodologi penelitian dengan pengujian alat sinkronisasi di laboratorium dan dengan simulasi menggunakan software proteus 8 serta perhitungan data dari rumus yang ada. Hasil alat sinkronisasi dan analisa alat tersebut dapat bekerja dengan baik pada nilai tegangan 55 volt dari generator sinkron, dan tegangan 55 volt dari jaringan PLN. Generator sinkron ini diberi penguatan sebesar 31,3 Va.s dari power supply sanfix dengan arus yang mengalir sebesar 0,25 A. Penguatan arus pada generator sinkron sangatlah diperlukan dalam pembangkitan listrik dari generator. Pada nominal tegangan sinkronisasi sebesar 55 V hanya dapat menanggung beban diatas 1 H. Pada beban resistif nilai tegangan tidak berkurang karena memiliki faktor daya yang baik yaitu bernilai 1. Sedangkan pada beban induktif nilai tegangan dapat berkurang diakibatkan faktor daya yang >1 .

Kata kunci : Penguatan arus eksitasi sanfix, Sinkronisasi beban resistif,
Sinkronisasi beban induktif.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi, khususnya dalam bidang ketenagalistrikan di era modern saat ini semakin pesat. Sehingga kebutuhan akan tenaga listrik juga terus meningkat. Untuk mengatasi kebutuhan tenaga listrik yang terus meningkat, maka Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia membuka

kesempatan kepada semua pihak, termasuk pemerintah daerah dan swasta, untuk berpartisipasi dalam pembangunan sektor ketenagalistrikan. Kebijakan tersebut didasarkan pada Undang-undang Nomor 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan, serta didukung oleh Undang-Undang Nomor 33 Tahun 2004 tentang Pemerintah Daerah dan Undang-Undang Nomor 34 Tahun 2004 tentang Perimbangan Keuangan antara Pemerintah Pusat dan Daerah (**Kementerian ESDM Bidang Ketenagalistrikan, 2011**)[1]. Saat ini, sumber pembangkit utama merupakan sumber energi utama yang di konsumsi oleh beban, yang diperoleh dari sistem jaringan penyedia utama PLN dengan tegangan 220/380 Volt. Dalam analisa ini sumber energi utama yang digunakan akan disinkronisasikan dengan sumber energi tambahan berupa generator 3 fasa berkapasitas 220/380 Volt. Sumber energi tambahan ini disinkronisasikan sebagai pembantu untuk tujuan pelayanan beban yang meningkat. Sinkronisasi adalah suatu cara untuk menghubungkan dua sumber atau beban Arus Bolak-Balik (a.b). Sumber (a.b) tersebut antara lain generator dan beban adalah transformator yang akan digabungkan atau diparalel dengan tujuan untuk meningkatkan keandalan dan kapasitas sistem tenaga listrik (**Djodi Antono & M. Khambali, 2013**)[2]. Generator sinkron tambahan ini berperan penting dalam mensuplai tegangan ke sumber energi utama karena beban yang besar. Oleh sebab itu, agar generator sinkron ini tetap stabil menghasilkan nilai tegangannya, perlu adanya pengaturan arus eksitasi pada generator tersebut. Pengaturan tersebut akan mengatur daya reaktif yang dibutuhkan pada generator sehingga dapat menentukan perubahan faktor daya pada generator sinkron yang mempengaruhi besar tegangan output dari generator (**Basofi & Ir.Syamsul Amien, M.S, 2014**)[3]. Sehingga sumber energi utama PLN dan Generator sinkron tambahan dapat dilakukan sinkronisasi untuk suplai beban dengan tegangan yang sama.

Adapun syarat yang harus dipenuhi dalam melakukan penyinkronan antara PLN dan Generator sinkron tiga fase, yaitu :

1. Tegangan antara PLN dan Generator sinkron tiga fase harus sama.
2. Frekuensi antara PLN dan Generator sinkron tiga fase harus sama.
3. Urutan fasa kedua sumber tegangan yang sama.
4. Sudut fasa dari kedua sumber tegangan yang sama.

DASAR TEORI

A. Hukum Ohm

Hukum Ohm menyatakan bahwa[5]: Kuat arus yang mengalir melalui suatu penghantar sebanding dengan beda potensial antara ujung-ujung penghantar dan berbanding terbalik dengan hambatan penghantar.

Rumus Kuat Arus Listrik

Hubungan Antara Kuat Arus Listrik dan Beda Potensial :

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

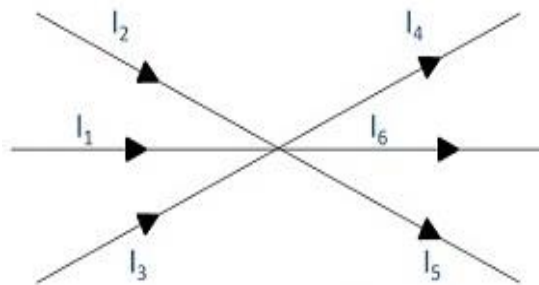
- I = Kuat arus listrik (A)
- R = Hambatan listrik (Ω)
- V = Beda potensial listrik (V)

B. Hukum Kirchoff

B.1 Hukum Kirchoff 1

Bunyi Hukum Kirchoff 1 adalah sebagai berikut [6]:

“Arus total yang masuk melalui suatu titik percabangan dalam suatu rangkaian listrik sama dengan arus total yang keluar dari titik percabangan tersebut”.



Gambar B1 Rangkaian sederhana hukum kirchoff 1

Berdasarkan Rangkaian diatas, dapat dirumuskan bahwa :

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5 + I_6 \dots\dots\dots(2)$$

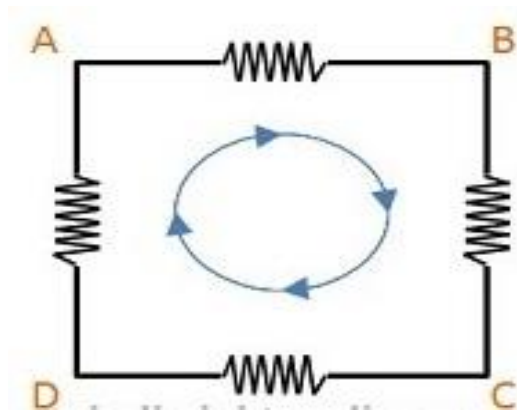
Artinya arus yang mengalir pada $I_1+I_2+I_3$ jumlahnya akan sama dengan jumlah arus yang mengalir pada $I_4+I_5+I_6$.

B.2 Hukum Kirchoff 2

Bunyi Hukum Kirchoff 2 adalah sebagai berikut [6]:

“Total tegangan (beda potensial) pada suatu rangkaian tertutup adalah nol”.

Untuk lebih jelas mengenai Bunyi Hukum Kirchoff 2, dapat dilihat pada gambar B.2



Gambar B.2 Rangkaian sederhana hukum kirchoff 2

Berdasarkan Rangkaian diatas, dapat dirumuskan bahwa :

$$V_{ab} + V_{bc} + V_{cd} + V_{da} = 0.....(3)$$

Artinya dari rangkaian diatas, tegangan yang ada pada setiap ujung kawat hambatan jika dijumlahkan maka hasilnya akan nol.

B.3 Generator Sinkron

Dalam[9], Secara umum generator sinkron mempunyai kumparan stator dan kumparan rotor yang akan menghasilkan energi listrik. Generator sinkron merupakan mesin sinkron yang mengubah dari energi mekanik ke energi listrik. Energi mekanik berupa putaran rotor yang digerakan oleh penggerak mulai (prime mover) yang akan menghasilkan medan magnet putar dengan kecepatan dan arah putar yang sama dengan putaran rotor, hubungan antara kecepatan putar dengan putaran rotor disebut dengan frekuensi, persamaan antara kecepatan putar medan magnet dengan frekuensi listrik pada stator adalah :

$$n = \frac{120 \cdot f}{P}(4)$$

Dimana :

F = Frekuensi listrik (Hz)

p = Jumlah kutub

n = Kecepatan putar rotor (rpm)

Perubahan fluks magnetik akan menghasilkan ggl induksi pada ujung kumparan terdapat dalam persamaan :

$$E_{Gen} = 4,44 \cdot f \cdot \psi.....(5)$$

Dimana :

E_{Gen} = Ggl induksi generator (Volt)

f = Frekuensi listrik (Hz)

ψ = Arus eksitasi / Fluks magnetik
(weber)

B.4 Segitiga Daya

Efisiensi dari sebuah instalasi tenaga listrik diukur dari faktor daya atau biasa disebut dengan istilah $\cos \vartheta$, dalam sistem sinusoida besaran $\cos \vartheta$ menunjukkan level dari daya reaktif yaitu $0 \leq \cos \vartheta \leq 1$. Persamaan faktor daya dapat dilihat sebagai berikut[9] :

$$\cos \vartheta = \frac{P}{S} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana daya nyata dalam listrik 3 fasa dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \vartheta \text{ (watt)} \dots\dots\dots(7)$$

Sama halnya dengan daya semu dalam listrik 3 fasa dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \text{ (VA)} \dots\dots\dots(8)$$

Sedangkan daya reaktif dalam listrik 3 fasa dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \vartheta \text{ (VAR)} \dots\dots\dots(9)$$

Ketiga persamaan diatas dapat digambarkan dengan metode segitiga daya seperti berikut :



Gambar B.4 Segitiga Daya

Pernyataan tersebut mendefinisikan hubungan power faktor dengan sudut fasa. Sudut fasanya semakin mendekati 1 akan mengecilkan daya reaktif yang dihasilkannya.

Dari persamaan diatas dapat ditentukan penggunaan daya pada listrik 1 fasa sebagai berikut :

$$P = V \cdot I \text{ (watt)} \dots\dots\dots(10)$$

Dimana :

- P = Daya (watt)
- V = Tegangan (V)
- I = Arus (A)

B.5 Generator Tanpa Beban

Dengan menggerakkan generator dengan kecepatan sinkron dan rotor diberi arus eksitasi (I_f), tegangan (E_{out}) akan terinduksi pada kumparan jangkar stator[12].

$E_{out} = c \cdot n \cdot \psi$
 c = Konstanta mesin
 n = Putaran sinkron
 ψ = Fluks yang dihasilkan oleh I_f

B.6 Generator Berbeban

Dalam keadaan berbeban arus jangkar akan mengalir dan mengakibatkan terjadinya reaksi jangkar. Reaksi jangkar itu bersifat reaktif karena dinyatakan sebagai reaktansi dan disebut reaktansi pemagnet (X_m). Reaktans pemagnet bersama-sama dengan reaktans fluks bocor (X_a) dikenal dengan sebagai reaktans (X_s).

$$E_{out} = V + I_{Ra} + j I_{Xs} ; \therefore X_s = X_m + X_a \dots \dots \dots (11)$$

B.7 Kerja Paralel PLN Dan Generator (Sinkronisasi)

Untuk maksud memparalelkan ini, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi, yaitu [13]:

1. Arah putaran generator searah jarum jam.
2. Nilai efektif tegangan harus sama.
3. Frekuensi generator harus sama.
4. Tegangan generator yang diparalelkan mempunyai bentuk gelombang yang sama.
5. Urutan fase generator harus sama.

C. Metode Pengujian

C.1 Pengujian Laboratorium

Pengujian alat sinkronisasi yang dilakukan di Laboratorium Universitas 17 Agustus 1945. Dimaksudkan untuk proses pengambilan data analisa dalam penelitian tugas akhir ini.

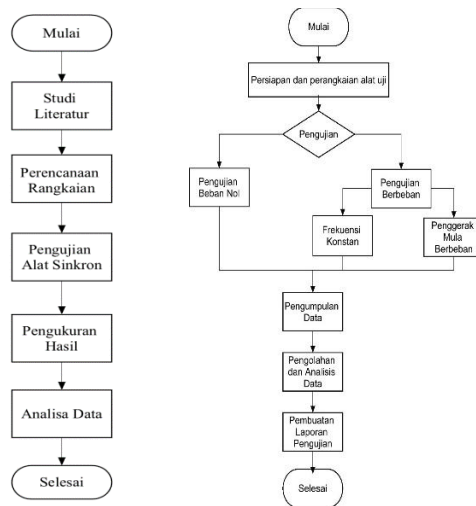
C.2 Pengujian Software Proteus 8

Pengujian alat sinkronisasi yang dilakukan menggunakan simulasi software proteus 8. Dimaksudkan untuk proses pengambilan data analisa dalam penelitian tugas akhir ini.

D. DIAGRAM ALIR PENGUJIAN

ALAT SINKRONISASI

Agar mempermudah dalam melakukan penelitian terdapat diagram alir sebagai berikut :



Gambar D. Flowchart pengujian alat sinkronisasi

E. Kebutuhan Alat Dan Bahan

Dalam penelitian ini adapun komponen atau pendukung yang diperlukan adalah sumber pembangkit tenaga utamanya adalah PLN. Dan sebagai sumber pembangkit tambahan adalah generator sinkron 3 fasa yang digerakkan oleh motor (a.s), yang diambil dari Laboratorium Teknik Elektro Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta.

Spesifik Sumber Listrik PLN

- Jumlah Fasa : 3 Fasa
- Tegangan : 220/380 V
- Frekuensi : 50 Hz
- Pemutus Utama : 4 A



Gambar Nameplate generator sinkron

Spesifikasi Sumber Listrik Dari Generator

- Generator Sinkron :
- Jenis : 3 Fasa Synchronous
- Tipe : SM – 250 - 3
- Jumlah Fasa : 3 Fasa
- Kapasitas Daya : 1/3 HP

- Tegangan : 220 V
- Arus : 17 A
- Frekuensi : 50 Hz
- Putaran : 1750 Rpm
- Eksitasi
 - Tegangan : 31,3 V
 - Arus : 0,25 A



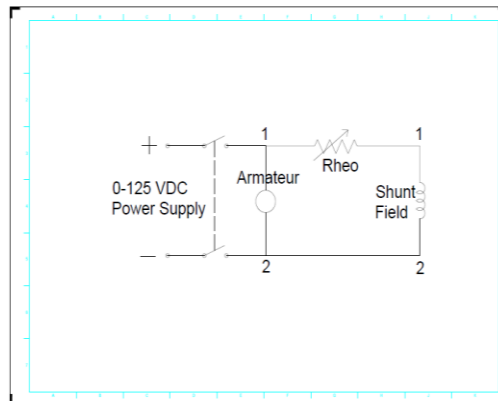
Gambar Nameplate Penggerak Motor (a.s)

Penggerak Utama : Motor (a.s)

- Jenis Compound : Motor eksitasi (a.s)
- Kapasitas Daya : 1/3 HP
- V Supply : 125 V
- Arus : 3,5 A
- Putaran : 1800 Rpm
- Eksitasi : 0,25 A

HASIL SIMULASI

A. Rangkaian Alat Penggerak Motor (a.s)



Gambar A Rangkaian Power Supply Motor (a.s)

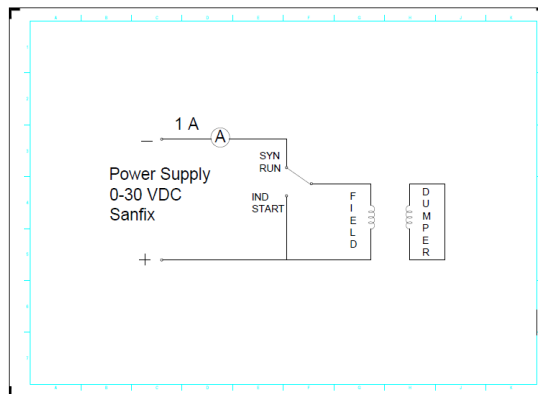
Pada Gambar A merupakan rangkaian listrik yang berfungsi sebagai penggerak motor (a.s) dari power supply 0 – 125 Va.s. Pengujian dilakukan di Laboratorium Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta. Dari rangkaian diatas dapat dijelaskan bahwa sumber listrik a.s yang mengalir dari power supply bertegangan 110 volt. Tegangan ini kemudian dihubungkan melalui armature sebagai penentu arah putaran motor penggerak dan diparalelkan dengan rheostat dan shunt field untuk penguatannya. Dalam penerapannya di perangkat alat, dapat dilihat dari gambar seperti berikut :



Gambar Penerapan rangkaian motor (a.s)

Dari rangkaian tersebut didapatkan hasil pengukuran yang terjadi pada motor (a.s) bahwa nilai tegangan inputnya maksimal sebesar 110 Va.s, dikarenakan kemampuan alat pada power supply (a.s) tidak boleh melebihi nilai tegangan tersebut, dan juga untuk keamanan alat yang digunakan. Selanjutnya untuk arah putaran motor (a.s) sudah sesuai dengan arah jarum jam.

B. Rangkaian Penguatan Arus Eksitasi Generator Sinkron



Gambar B Rangkaian Penguatan Arus Eksitasi Generator Sinkron

Rangkaian listrik yang berfungsi sebagai penguatan arus eksitasi pada generator sinkron. Power supply yang digunakan sebagai penguatan arus eksitasi generator tersebut yaitu sanfix. Dalam penerapan rangkaian pada perangkat alat dapat dilihat gambar B seperti berikut :



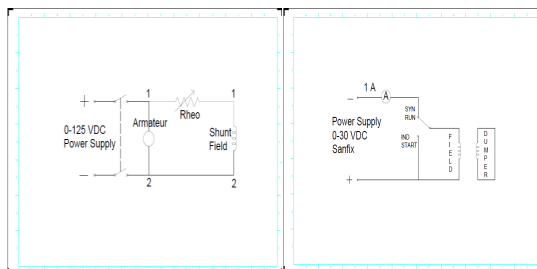
Gambar Penerapan rangkaian penguatan arus eksitasi generator

Data pengukuran dari alat tersebut digunakan tegangan maksimum sebesar 31,3 volt dan arus eksitasi maksimumnya 0,25 ampere. Dapat dilihat pada gambar hasil data pengukuran yang diperoleh saat pengujian di laboratorium.

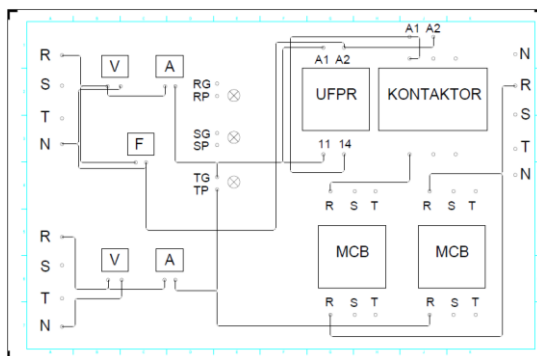


Gambar Pengukuran penguatan arus eksitasi generator sinkron.

C. Rangkaian Pengujian Sinkronisasi



Gambar C Rangkaian Pengujian Sinkronisasi



Dari rangkaian diatas dapat dijelaskan bahwa, pada penggerak mula motor (a.s) digunakan tegangan sebesar 110 Va.s yang kemudian dapat menggerakkan generator sinkron sesuai dengan arah putaran jarum jam. Kemudian pada saat generator sinkron tersebut bergerak, perlu adanya penguatan medan magnet dan penguatan arus eksitasi ke generator tersebut. Penguatan ini didapat dari input power supply (a.s) sebesar nilai tegangan 31,3V dan arus eksitasinya bernilai 0,25A. Lalu pada generator sinkron tersebut keluarlah tegangan output dari terminal fasa-fasa sebesar 95 Va.b dan fasa-netralnya sebesar 55 Va.b.

Proses pelaksanaan dan penerapan rangkaian yang dilakukan di laboratorium seperti gambar berikut :



Gambar Penerapan rangkaian pengujian sinkronisasi

D. Hasil Pengukuran Laboratorium

Tabel 4.2.B Data pengukuran tegangan output generator dengan arus eksitasi

Tegangan		I eksitasi	V in
F – N	F – F		
7,5 Volt	12 Volt	0,04 A	5 Volt
15 Volt	25 Volt	0,08 A	10 Volt
30 Volt	50 Volt	0,17 A	20 Volt
39 Volt	64 Volt	0,21 A	25 Volt
47 Volt	77 Volt	0,23 A	30 Volt
55 Volt	104 Volt	0,25 A	31,3 Volt

Dari data tabel diatas dapat diketahui bahwa, arus penguat eksitasi generator sinkron sangatlah berpengaruh terhadap tegangan output generator. Sehingga semakin besar arus eksitasi yang diberikan semakin besar juga tegangan yang dihasilkan oleh generator sinkron. Dapat dijelaskan seperti data perhitungan berikut ini :

$$E_{\text{Gen}} = 4,44 \cdot f \cdot \psi$$

Dari persamaan rumus diatas dapat dihitung tegangan yang dihasilkan dari penguatan arus eksitasinya :

1. $E_{\text{Gen}} = 4,44 \cdot 50 \cdot 0,04$
 $E_{\text{Gen}} = 8,88 \text{ V}$
2. $E_{\text{Gen}} = 4,44 \cdot 50 \cdot 0,08$
 $E_{\text{Gen}} = 17,76 \text{ V}$
3. $E_{\text{Gen}} = 4,44 \cdot 50 \cdot 0,17$
 $E_{\text{Gen}} = 37,74 \text{ V}$
4. $E_{\text{Gen}} = 4,44 \cdot 50 \cdot 0,21$
 $E_{\text{Gen}} = 46,62 \text{ V}$
5. $E_{\text{Gen}} = 4,44 \cdot 50 \cdot 0,23$
 $E_{\text{Gen}} = 51,06 \text{ V}$
6. $E_{\text{Gen}} = 4,44 \cdot 50 \cdot 0,25$
 $E_{\text{Gen}} = 55,5 \text{ V}$

Dari analisa perhitungan tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa sudah sesuai bila penguatan arus eksitasi berpengaruh terhadap tegangan output generator sinkron 3 fasa.

E. Hasil Pengukuran Terminal Generator

Merupakan pengukuran alat sinkronisasi pada jaringan generator sinkron saat keadaan tanpa dibebani dan saat keadaan berbeban. Berikut hasil pengukuranya :

E.1 Pengukuran Tanpa Beban



Gambar E.1 Pengukuran tanpa beban jaringan generator

Dari gambar diatas dapat dijelaskan bahwa pada jaringan generator sinkron tegangan yang terukur adalah sebesar 54 Va.b, arus yang mengalir 0 A, dan frekuensinya sebesar 50 Hz. Maka dapat diketahui bahwa daya yang ada pada beban masih kosong (nol).

Rumus generator tanpa beban

$$E_{\text{out}} = c \cdot n \cdot \psi$$

Maka diperoleh

$$E_{\text{out}} = 0,15 \cdot 1500 \cdot 0,25$$

$$E_{\text{out}} = 56,25 \text{ V}$$

Rumus perhitungan daya adalah

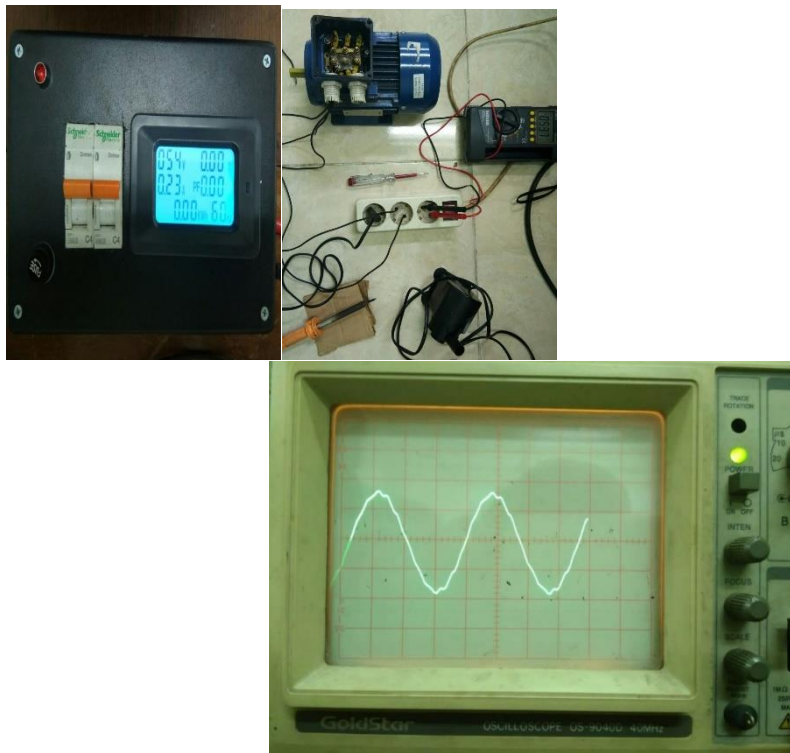
$$P = V \times I \text{ (watt)}$$

Maka diperoleh

$$P = 54 \times 0$$

$$P = 0 \text{ watt}$$

E.2 Pengukuran Berbeban



Data pengukuran yang ada yaitu :

Rumus perhitungan daya adalah

$$P = V \times I \text{ (watt)}$$

Maka diperoleh

$$P = 54 \times 0,23$$

$$P = 12,42 \text{ watt}$$

F. Hasil Pengukuran Terminal PLN

Sama halnya dengan pengukuran jaringan generator, pengukuran jaringan PLN, merupakan pengukuran alat sinkronisasi pada jaringan PLN saat keadaan tanpa dibebani dan saat keadaan berbeban. Berikut hasil pengukurannya :

F.1 Pengukuran Tanpa Beban



Gambar F.1 Pengukuran tanpa beban jaringan PLN

Dari gambar diatas dapat dijelaskan bahwa pada jaringan PLN tegangan yang terukur adalah sebesar 53 Va.b, arus yang mengalir 0 A, dan frekuensinya sebesar 50 Hz. Maka dapat diketahui bahwa daya yang ada pada beban masih kosong (nol).

Rumus perhitungan daya adalah

$$P = V \times I \text{ (watt)}$$

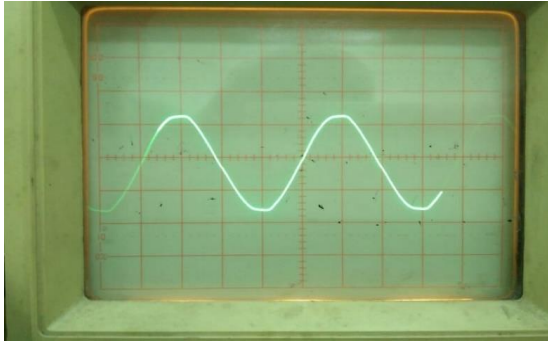
Maka diperoleh

$$P = 53 \times 0$$

$$P = 0 \text{ watt}$$

F.2 Pengukuran Berbeban





Data pengukuran yang ada yaitu :

Rumus perhitungan daya adalah

$$P = V \times I \text{ (watt)}$$

Maka diperoleh

$$P = 53 \times 0,23$$

$$P = 12,19 \text{ watt}$$

G. Hasil Pengukuran Saat Sinkron

Pada pengukuran jaringan sinkronisasi, merupakan pengukuran alat sinkronisasi setelah dilakukan penggabungan antara jaringan generator dan jaringan PLN. Pengukuran dilakukan saat keadaan tanpa dibebani dan juga keadaan berbeban. Berikut hasil pengukurannya :

G.1 Pengukuran Tanpa Beban



Gambar G.1 Pengukuran tanpa beban saat sinkron

Pada gambar diatas dapat dijelaskan bahwa pada saat sinkron tegangan yang terukur adalah sebesar 55 V.a.b, terjadi peningkatan tegangan setelah dilakukan penggabungan dua sumber tegangan tersebut, arus yang mengalir 0 A, dan

frekuensinya sebesar 50 Hz. Maka dapat diketahui bahwa daya yang ada pada beban masih kosong (nol).

Rumus perhitungan daya adalah

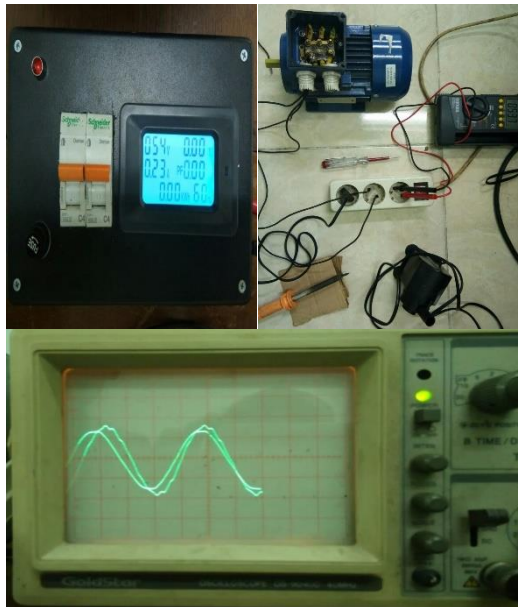
$$P = V \times I \text{ (watt)}$$

Maka diperoleh

$$P = 54 \times 0$$

$$P = 0 \text{ watt}$$

G.2 Pengukuran Berbeban



Data pengukuran yang ada yaitu :

Rumus perhitungan daya adalah

$$P = V \times I \text{ (watt)}$$

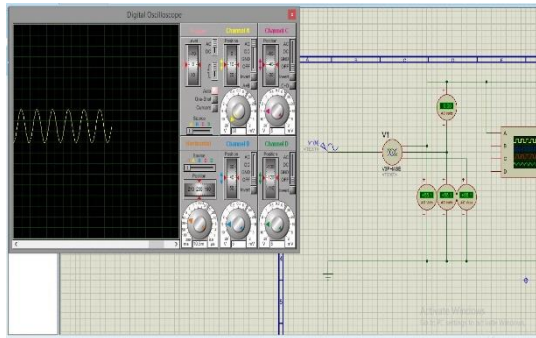
Maka diperoleh

$$P = 54 \times 0,23$$

$$P = 12,42 \text{ watt}$$

H.1 Simulasi Generator Tanpa Beban

Simulasi ini dilakukan pada saat jaringan generator dalam keadaan tanpa beban. Dapat terlihat dalam keadaan ini sudut sinusoida dan tegangan yang terukur seperti gambar H.1 berikut ini :



Gambar H.1 Simulasi generator sinkron tanpa beban

Rumus generator tanpa beban

$$E_{out} = c \cdot n \cdot \psi$$

Maka diperoleh

$$E_{out} = 0,15 \cdot 1500 \cdot 0,25$$

$$E_{out} = 56,25 \text{ V}$$

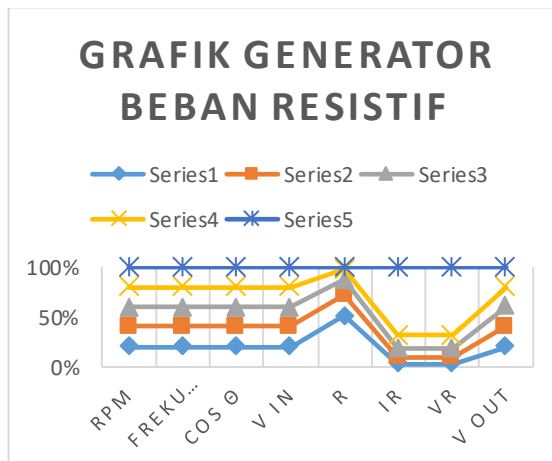
H.2 Simulasi Generator Berbeban

H.2.A Beban Resistif

Tabel H.2.A Hasil data simulasi berbeban resistif

Rpm	Frekuensi i	Co s θ	V in	R	Ir	Vr	V out
150 0	50	0,8	5 5	5000 0	0,0011	0,0605	54,9395
150 0	50	0,8	5 5	2000 0	0,00275	0,15125	54,84875
150 0	50	0,8	5 5	1500 0	0,003666 7	0,20166666 7	54,7983333 3
150 0	50	0,8	5 5	1000 0	0,0055	0,3025	54,6975
150 0	50	0,8	5 5	2000	0,0275	1,5125	53,4875

Dari tabel diatas didapatkan grafik pada saat generator kondisi berbeban resistif seperti gambar H.2.B berikut :



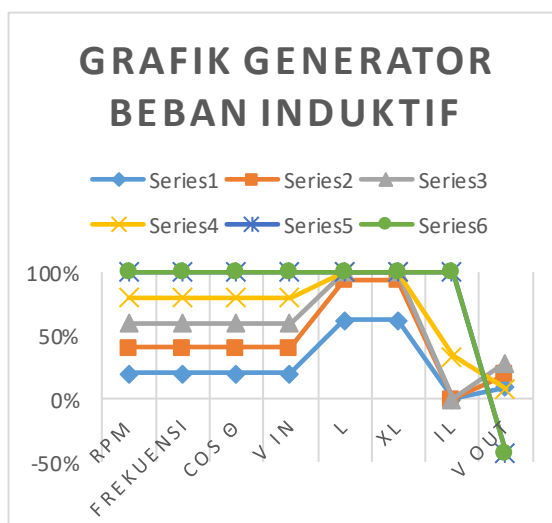
Gambar H.2.B Grafik generator berbeban resistif

H.2.C Beban Induktif

Tabel H.2.C Hasil data simulasi berbeban induktif

Rpm	Frekuensi	Cos θ	V _{in}	L	XL	IL	V out
1500	50	0,8	55	10	3140	0,017515924	54,98248408
1500	50	0,8	55	5	1570	0,035031847	54,96496815
1500	50	0,8	55	1	314	0,175159236	54,82484076
1500	50	0,8	55	0,001	0,314	175,1592357	- 120,1592357
1500	50	0,8	55	0,0005	0,157	350,3184713	- 295,3184713

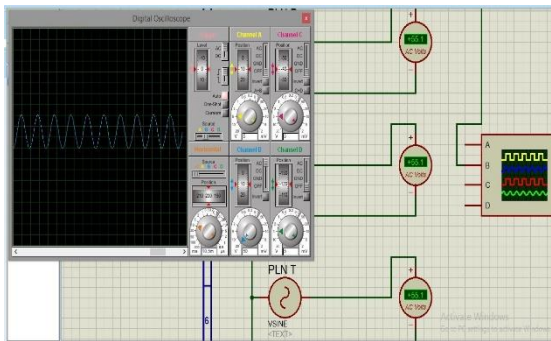
Dari tabel diatas didapatkan grafik pada saat generator kondisi berbeban induktif seperti gambar H.2.D berikut :



Gambar H.2.D Grafik generator berbeban induktif

I.1 Simulasi PLN Tanpa Beban

Simulasi ini dilakukan pada saat jaringan PLN dalam keadaan tanpa beban. Dapat terlihat dalam keadaan ini sudut sinusoida dan tegangan yang terukur seperti gambar I.1 berikut ini :



Gambar I.1 Simulasi PLN tanpa beban

Diketahui bahwa tegangan yang digunakan pada PLN sebesar 110 V dan digunakan transformator penurun tegangan, sehingga tegangan yang digunakan sebesar 55 V. Dapat dijelaskan dengan persamaan rumus berikut :

$$\bar{R} = V_R \cos 30 \quad \bar{S} = V_R \cos 30$$

$$= V_R \frac{1}{2} \sqrt{3} \quad = V_R \frac{1}{2} \sqrt{3}$$

$$\begin{aligned} \overline{RS} &= 2 \cdot V_R \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{3} \\ &= V_R \cdot \sqrt{3} \end{aligned}$$

Sehingga dari rumus tersebut didapatkan nilai tegangan fasa-netralnya sebesar :

$$\overline{RS} = V_R \cdot \sqrt{3}$$

$$V_R = \frac{\overline{RS}}{\sqrt{3}}$$

$$V_R = \frac{95}{\sqrt{3}}$$

$$V_R = 55 \text{ Volt}$$

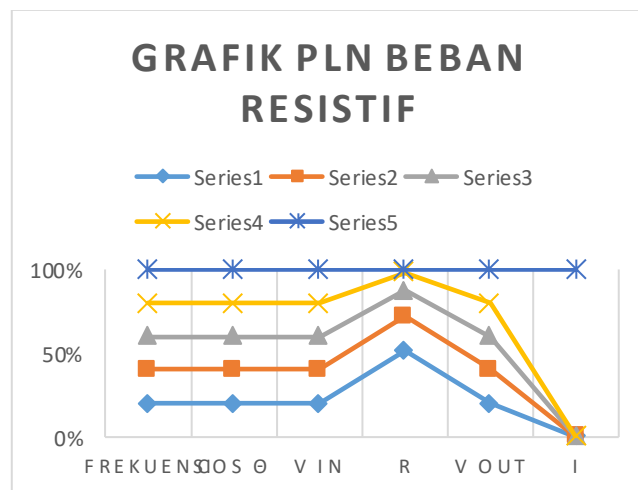
I.2 Simulasi PLN Berbeban

I.1.A Beban Resistif

Tabel I.1.A Hasil data simulasi berbeban resistif

Frekuensi	$\cos \theta$	V_{in}	R	V_{out}	I
50	0,8	55	50	55	0
50	0,8	55	20	55	0
50	0,8	55	15	55	0
50	0,8	55	10	55	0
50	0,8	55	2	55	0,02

Dari tabel diatas didapatkan grafik pada saat generator kondisi berbeban resistif seperti gambar I.2.B berikut :



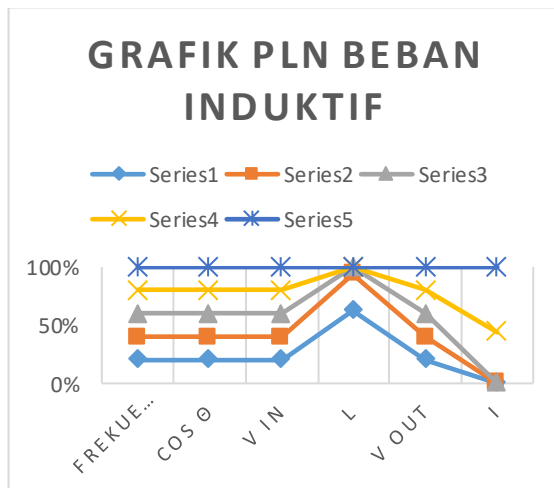
Gambar I.2.B Grafik PLN berbeban resistif

I.2.C Beban Induktif

Tabel I.2.C Hasil data simulasi berbeban induktif

Frekuensi	$\cos \theta$	V_{in}	L	V_{out}	I
50	0,8	55	10	55	0,02
50	0,8	55	5	55	0,05
50	0,8	55	1	55	0,17
50	0,8	55	0,001	55	127
50	0,8	55	0,0005	55	163

Dari tabel diatas didapatkan grafik pada saat PLN kondisi berbeban an induktif seperti gambar I.2.D berikut :

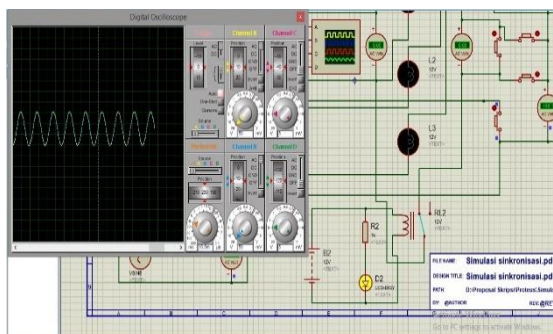


Gambar I.2.D Grafik PLN berbeban induktif

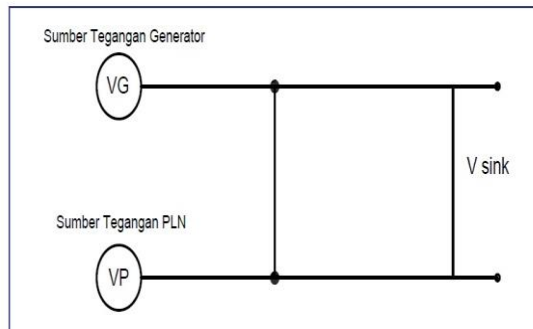
Dari grafik tersebut dapat diperoleh analisa bahwa tegangan PLN tetap stabil pada tegangan 55 V meskipun diberi beban induksi sebesar 1 mH. Sehingga sudut sinusoida pada osciloskop tetap konstan meskipun terjadi beban berlebih.

J.1 Simulasi Sinkronisasi Tanpa Beban

Simulasi ini dilakukan pada saat jaringan Generator sinkron dan PLN telah dilakukan sinkronisasi terlebih dahulu. Kemudian pada saat terjadi sinkronisasi diberi keadaan tanpa beban. Dapat terlihat dalam keadaan ini sudut sinusoida dan tegangan yang terukur seperti gambar J.1 berikut ini :



Gambar J.1 Simulasi sinkronisasi tanpa beban



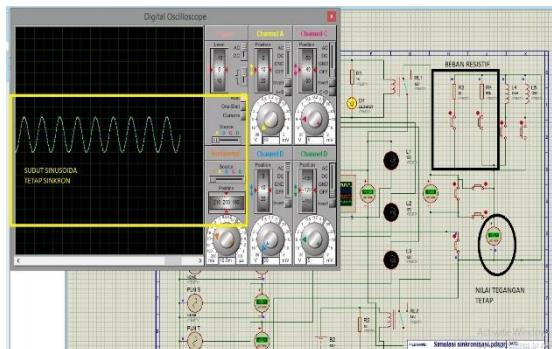
$$\begin{aligned}
 V_{ab} + V_{bc} + V_{cd} + V_{da} &= 0 \\
 -VG + VP &= 0 \\
 -55 \text{ V} + 55 \text{ V} &= 0
 \end{aligned}$$

Artinya didapatkan analisa bahwa ketika dua buah sumber tegangan digabungkan maka perbedaan tegangannya nol. Sehingga tegangan sinkronisasi tanpa beban sebesar 55 V.

J.2 Simulasi Sinkronisasi Berbeban

J.2.A Beban Resistif

Simulasi ini dilakukan pada saat jaringan sinkronisasi dalam keadaan berbeban. Dapat terlihat dalam keadaan berbeban resistif ini sudut sinusoida dan tegangan yang terukur seperti gambar J.2.A berikut ini :

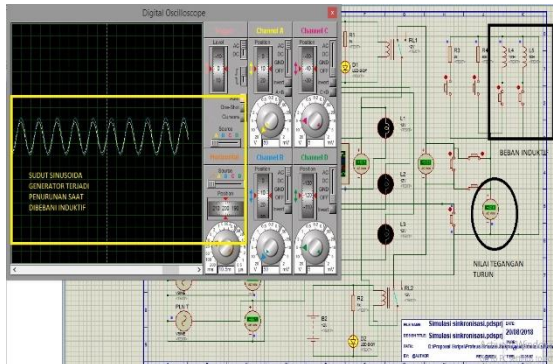


Gambar J.2.A Simulasi sinkronisasi berbeban resistif

Pada pengujian sinkronisasi yang diberi beban resistif tidak terjadi perubahan pada tegangan dan sudut sinusoidanya.

J.2.B Beban Induktif

Pengukuran selanjutnya dilakukan simulasi dalam keadaan berbeban induktif. Dapat terlihat dalam keadaan berbeban induktif ini sudut sinusoida dan tegangan yang terukur seperti gambar 4.3.3.2.B berikut ini :



Gambar J.2.B Simulasi sinkronisasi berbeban induktif

Dari pengujian simulasi pada jaringan sinkronisasi yang dilakukan pada keadaan berbeban induktif yang nilainya 1 mH, tegangan pada sinkronisasi turun menjadi 42,6 V yang pada tegangan awalnya 55 V. Dan terjadi perubahan sudut sinusoida pada generator sinkron. Dan saat dilakukan simulasi dengan beban induktif sebesar 1 H tegangan dan sudut sinusoida tetap keadaan konstan. Jadi alat sinkronisasi ini dengan tegangan sinkron 55 V dapat digunakan pada beban yang bernilai induktif diatas 1 H.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang sudah dilakukan di laboratorium, didapatkan hasil dan analisa bahwa :

1. Hasil pengukuran dan perhitungan didapatkan data yang sama, sehingga analisa alat sinkronisasi tersebut dapat bekerja dengan baik dan dapat dipergunakan dalam penggabungan dua sumber tegangan. Pada nominal tegangan sinkronisasi sebesar 55 V hanya dapat menanggung beban diatas 1 H. Pada beban resistif nilai tegangan tidak berkurang karena memiliki faktor daya yang baik yaitu bernilai 1. Sedangkan pada beban induktif nilai tegangan dapat berkurang diakibatkan faktor daya yang >1 .
2. Dalam melakukan penyinkronan terhadap dua sumber tegangan perlu memperhatikan lampu indikator terang gelap. Serta putaran motor yang menggerakkan generator harus disesuaikan agar relay frekuensi bekerja sesuai dengan frekuensi jaringan PLN yaitu 50 Hz.
3. Pengaturan arus eksitasi ke generator sinkron sangatlah berpengaruh terhadap tegangan outputnya. Semakin besar penguatan arus eksitasinya, semakin besar pula tegangan yang dihasilkan generator sinkron.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] -----, 2011. *Kebijakan Pemerintah di Bidang Ketenagalistrikan 2011*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- [2] Antono, D., & Khambali, M. (2013). Penerapan Sinkronisasi Jaringan Listrik Tiga Fasa PLN dengan Generator Sinkron Menggunakan Trainer Power Sistem Simulation. *ISSN : 2252-4908*, 2(3).
- [3] Basofi, Ir.Amien, S., M.S. (2014). Studi Pengaruh Arus Eksitasi Pada Generator Sinkron Yang Bekerja Paralel Terhadap Perubahan Faktor Daya. *SINGUDA ENSIKOM*, 7(1).
- [4] Risky, S. R. (2011). Pengaruh Sikap Profesionalisme Internal Auditor terhadap Peranan Internal Auditor dalam Pengungkapan Temuan Audit (Survei pada PT. PLN (Persero) Daerah Distribusi Jawa Barat dan Banten (Doctoral dissertation, Universitas Kristen Maranatha).
- [5] Salam, H., Setiawan, A., & Hamidah, I. (2010, November). Pembelajaran berbasis virtual laboratory Untuk meningkatkan penguasaan konsep pada Materi listrik dinamis. In *Proceedings of the 4th international conference on Teacher Education; Join Conference UPI & UPSI* (pp. 688-692).
- [6] Sari, P. I., Gunawan, G., & Harjono, A. (2017). Penggunaan Discovery Learning Berbantuan Laboratorium Virtual pada Penguasaan Konsep Fisika Siswa. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, 2(4), 176-182.
- [7] Zuhul. Dasar tenaga listrik. Bandung: Penerbit ITB, 1991. 9a,208h, 21cm 537.21
- [8] Kadir, Abdul. Mesin Sinkron / Abdul Kadir. – Ed.rev., cet 2. – Jakarta : Djambatan, 1999. Xvii, 455 hlm.; 21 cm
- [9] Graha, S. (2014). Power Management PLN-Genset Pada Bank Indonesia Cabang Banjarmasin. *JURNAL POS TEKNIK* : 56-102, 6(2).
- [10] Kuswanto, H. (2010). *Alat ukur listrik ac (arus, tegangan, daya) dengan port paralel* (Doctoral dissertation, Universitas Sebelas Maret).
- [11] Laksono, H. D., & Revan, M. (2014). Perancangan dan Analisa Kendali Sistem Eksitasi Generator Tipe Arus Searah Dengan PIDTool Model Paralel. *Teknika*, 21(3).
- [12] Ardhi, S. (2015). Pengendalian Sinkronisasi Generator Dengan Sumber Pembangkit Listrik Secara Otomatis Berbasis Mikrokontroller. *JURNAL ILMIAH TEKNOLOGI DAN REKAYASA*, ISSN : 1907-7327, 7(1).
- [13] Supriono, Panjaitan, S.D. (2015). Manajemen Daya Listrik Dengan Sistem Automatic Transfer And Synchronization Switch Berbasis PLC. *JNTETI ISSN : 2301-4156*, 4(3).
- [14] Rofii, A., & Ferdinand, R. (2018). ANALISA PENGGUNAAN KAPASITOR BANK DALAM UPAYA PERBAIKAN FAKTOR DAYA. *JURNAL KAJIAN TEKNIK ELEKTRO*, 3(1), 39-51.